

## Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola

### Films and edible coatings: importance, and recent trends in fruit and vegetable value chain

Quintero, C. Juan.<sup>I</sup>; Falguera, Victor.<sup>II</sup>; Muñoz, H. Aldemar.<sup>I</sup>

**Resumen.** El desarrollo de películas y recubrimientos comestibles aplicados a productos hortofrutícolas tanto frescos como mínimamente procesados ha generado recientes avances respecto al efecto sinérgico de los componentes sobre la vida de anaquel de dichos alimentos. El uso de hidrocoloides, plastificantes, aditivos y compuestos activos, tiene como objetivo generar una atmósfera modificada (AM) que tiene la capacidad de controlar la transferencia de masa representada en solutos, solventes, gases ( $O_2$ ,  $CO_2$ ) e incluso migrar sustancias desde la matriz ubicada en la superficie del alimento, tener efectos positivos sobre el control de la tasa de crecimiento microbiano, y mantener características tan deseadas por los consumidores como firmeza, brillo, color de los frutos e incluso en alimentos procesados como los productos fritos pueden llegar a minimizar la absorción de lípidos. Por lo anteriormente anotado, su estudio y divulgación seguirá siendo un tópico de vital importancia en las tecnologías emergentes, ya que son evidentes sus efectos benéficos sobre la minimización de pérdidas postcosecha, ralentización en el consumo de materiales poliméricos sintéticos, desarrollo de nuevos e innovadores biomateriales, productos frescos y mínimamente procesados biofortificados que traen beneficios y bienestar a los consumidores.

**Palabras clave:** Películas comestibles, recubrimientos comestibles, biopolímeros, compuestos bioactivos, tecnologías emergentes.

**Abstract.** The development of films and edible coatings applied to fruit and vegetables as fresh as minimally processed have generated recent advances regarding the components' synergistic effect on products' shelf life. The use of hydrocolloids, plasticizers, additives and active compounds aim to generate a modified atmosphere packaging (MAP) that aims at controlling mass transfer represented in solutes, solvents, gas exchange ( $O_2$ ,  $CO_2$ ), and even to migrate substances from the matrix located on the food surface, and have positive effects upon microbial growth rate and maintain characteristics desired by consumers such as firmness, bright, fruit color and even

I Grupo CEDAGRITOL, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia. jupaquince@hotmail.com

II Departament de Tecnologia d'Aliments UPV-XaRTA, Universitat de Lleida, Av. Rovira Roure 191, 25198 Lleida, Espanya. vfalguera@tecal.udl.cat

minimize the lipid absorption in processed foods like deep-fat fried foods. Therefore the study of these coatings and films and the distribution of related information remains as an important topic in emerging technologies because of beneficial effects on decreasing postharvest loss, could partly substitute traditional non-biodegradable plastic films, and can be used to develop new and innovative fresh and minimally processed bio-fortified products and biomaterials that bring profits and well-being to the consumers.

**Key words:** Edible films, edible coatings, biopolymers, bioactive compounds, emerging technologies.

## 1. INTRODUCCIÓN

Un recubrimiento comestible (RC) se puede definir como una matriz continua, delgada, que se estructura alrededor del alimento generalmente mediante la inmersión del mismo en una solución formadora del recubrimiento (García-Ramos *et al.*, 2010). Por otra parte una película comestible (PC) es una matriz preformada, delgada, que posteriormente será utilizada en forma de recubrimiento del alimento o estará ubicada entre los componentes del mismo. Dichas soluciones formadoras de PC o RC pueden estar conformadas por un polisacárido, un compuesto de naturaleza proteica, lipídica o por una mezcla de los mismos (Krochta *et al.*, 1994). Al igual que los RC, las PC poseen propiedades mecánicas, generan efecto barrera frente al transporte de gases, y pueden adquirir diversas propiedades funcionales dependiendo de las características de las sustancias encapsuladas y formadoras de dichas matrices (Vásconez *et al.*, 2009).

Diversos estudios reconocen la importancia de evaluar las matrices preformadas (PC), con la tarea de cuantificar diversos parámetros como propiedades mecánicas, ópticas y antimicrobianas a fin de determinar las posibilidades de su aplicación como nuevo empaque, ya que crea una atmosfera modificada (AM) que restringe la transferencia de gases ( $O_2$ ,  $CO_2$ ) y se convierte en una barrera para la transferencia de compuestos aromáticos (Miller & Krochta, 1997).

El empaque desempeña un papel fundamental sobre la conservación, distribución y marketing. Algunas de sus funciones son contener el alimento, y protegerlo de la acción física, mecánica, química y microbiológica. Un RC o PC tiene la capacidad de trabajar sinérgicamente con otros materiales de embalaje, tal como sucede con el RC de almidón de maíz adicionado con glicerol como plastificante y aplicado sobre coles de bruselas (*Brassica oleracea L.* var. Gemmifera). Éstas fueron tratadas con dicha so-

lución, almacenadas en platos de poliestireno expandido y cubiertas con películas de policloruro de vinilo (PVC). Dichas barreras permitieron conservar los parámetros de calidad desde diferentes factores como aceptabilidad comercial, pérdida de peso, firmeza, color de la superficie del alimento, y calidad nutritiva, ya que el contenido de vitamina C, flavonoides totales y actividad antioxidante se mantuvo constante durante 42 días de almacenamiento a una temperatura de 0 °C (Viña *et al.*, 2007).

El uso de una PC o RC en aplicaciones alimentarias y en especial en productos altamente perecederos, como los pertenecientes a la cadena hortofrutícola, se basa en ciertas características tales como costo, disponibilidad, atributos funcionales, propiedades mecánicas (tensión y flexibilidad), propiedades ópticas (brillo y opacidad), su efecto barrera frente al flujo de gases, resistencia estructural al agua, a microorganismos y su aceptabilidad sensorial. Estas características son influenciadas por parámetros como el tipo de material implementado como matriz estructural (conformación, masa molecular, distribución de cargas), las condiciones bajo las cuales se preforman las películas (tipo de solvente, pH, concentración de componentes, temperatura, entre otras), y el tipo y concentración de los aditivos (plastificantes, agentes entrecruzantes, antimicrobianos, antioxidantes, emulsificantes, etc.) (Guilbert *et al.*, 1996, Rojas-Graü *et al.*, 2009a).

El presente artículo tiene como objetivo hacer una síntesis de diversas investigaciones y tendencias recientes en el estudio y desarrollo de películas y recubrimientos comestibles, haciendo énfasis en las aplicaciones a la cadena hortofrutícola y su efecto sobre productos frescos y mínimamente procesados. Así mismo, pretende proporcionar una actualización concerniente a nuevos biopolímeros implementados en el desarrollo de nuevas PC y RC, y la importancia de su optimización desde diversos parámetros como propiedades mecánicas, estabilidad microbiológica, humectabilidad, y la capacidad que éstas poseen para acarrear compuestos con propiedades nutraceuticas y diversos aditivos que mejoran atributos sensoriales en los hortofrutícolas tratados.

## **2. CARBOHIDRATOS, PROTEÍNAS Y LÍPIDOS COMO MATRICES ESTRUCTURALES**

Las PC y RC se han clasificado con base en el material estructural, de modo que se habla de películas y recubrimientos basados en proteínas, lípidos, carbohidratos o compuestas (composites). Un *film* compuesto consiste en lípidos e hidrocoloides combinados para formar una bicapa o un conglomerado (Krochta *et al.*, 1994). En estudios recientes las tecnologías de películas comestibles y biodegradables contem-

plan la producción de PC mediante la combinación de diversos polisacáridos, proteínas y lípidos, con la tarea de aprovechar las propiedades de cada compuesto y la sinergia entre los componentes implementados, ya que las propiedades mecánicas y de barrera dependen de los compuestos que integran la matriz polimérica y de su compatibilidad (Altenhofen *et al.*, 2009).

A continuación se referencian algunos polisacáridos, así como hidrocoloides de naturaleza proteica que han sido objeto de investigación como PC y RC, estos son: carboximetilcelulosa, caseína (Ponce *et al.*, 2008), pectina, así como su mezcla junto a alginato de sodio y el efecto de la adición de  $\text{CaCl}_2$  como material entrecruzante (Maftoonazad *et al.*, 2007, Altenhofen *et al.*, 2009), goma tragacanto, goma guar, etilcelulosa (Shresta *et al.*, 2003), goma de mezquite (Bosquez-Molina *et al.*, 2010), gluten de trigo (Tanada-Palmu & Grosso, 2005), gelatina adicionada con glicerol, sorbitol y sucrosa como plastificantes (Arvanitoyannis *et al.*, 1997; Sobral *et al.*, 2001) y PC multicomponente de gelatina-caseína entrecruzadas con transglutaminasa (Chambi & Grosso, 2006).

Almidones de interés como el de yuca plastificado con glicerol, polietilenglicol (Parra *et al.*, 2004), e incorporado con compuestos antimicrobianos naturales (Kechichian *et al.*, 2010), y almidón de maíz estándar y pre-gelatinizado hacen parte de los biopolímeros de interés por su bajo precio y accesibilidad (Pagella *et al.*, 2002).

Los polisacáridos y las proteínas son buenos materiales para la formación de PC y RC, ya que muestran excelentes propiedades mecánicas y estructurales, pero presentan una pobre capacidad de barrera frente a la humedad. Este problema no se encuentra en los lípidos dadas sus propiedades hidrofóbicas, especialmente los que poseen puntos de fusión altos tales como la cera de abejas y la cera carnauba (Moriillon *et al.*, 2002; Shellhammer & Krochta, 1997).

Para superar la pobre resistencia mecánica de los compuestos lipídicos, estos pueden ser usados en asociación con materiales hidrofílicos mediante la formación de una emulsión o a través de la laminación de la película hidrocoloide con una capa lipídica. Hay que tener en cuenta que la eficiencia de una película comestible frente a la humedad no puede ser simplemente mejorada mediante la adición de materiales hidrofóbicos a la formulación, a menos que se logre una capa lipídica homogénea y continua dentro o sobre la matriz hidrocoloide (Martin-Polo *et al.*, 1992; Karbowiak *et al.*, 2007).

Las películas basadas en emulsiones son menos eficientes en el control de la transferencia de agua que las películas bicapa, ya que no se logra una distribución homogénea de los lípidos. Sin embargo, exhiben buena resistencia mecánica y requieren un sencillo proceso durante la manufactura y la aplicación; en cambio, las películas multicapa requieren un conjunto de operaciones que dependen del número de recubrimientos. Se ha demostrado para películas basadas en emulsiones que cuanto menor sea el tamaño de las partículas o glóbulos de lípidos, y cuanto más homogéneamente estén distribuidos, menor será la permeabilidad al vapor de agua (WVP) (McHugh & Krochta, 1994; Debeauford & Voilley, 1995; Perez-Gago & Krochta, 2001). No obstante, su permeabilidad al vapor de agua es a menudo cercana a los valores que presentan las películas a base de proteínas o polisacáridos (Morillon *et al.*, 2002).

## 2.1 NUEVOS BIOPOLÍMEROS IMPLEMENTADOS EN EL DESARROLLO DE PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES

**Qitosano:** es un biopolímero, que ofrece un amplio potencial que puede ser aplicado a la industria alimentaria debido a sus propiedades fisicoquímicas particulares, tales como biodegradabilidad, biocompatibilidad con los tejidos humanos, el no ser tóxico y en especial sus propiedades antimicrobianas y antifúngicas. Estos aspectos lo hacen de vital interés para la preservación de alimentos y las tecnologías emergentes (Aider, 2010).

Además de investigaciones basadas en sus características antimicrobianas, se han evaluado y cuantificado sus propiedades mecánicas, térmicas y de permeabilidad a los gases ( $O_2$ ,  $CO_2$ ), encontrándose que PC de gelatina-qitosano plastificadas con agua y polioles sufren un aumento en la permeabilidad conforme se incrementa el contenido de plastificantes (Arvanitoyannis *et al.*, 1997). Películas compuestas de almidón de maíz-qitosano plastificadas con glicerina, muestran que la mezcla de estos dos hidrocoloides mejora sus propiedades mecánicas como la elongación a la rotura y la permeabilidad al vapor de agua, en contraste con membranas desarrolladas con uno solo de los componentes estructurales. Esto como resultado de las interacciones entre los grupos hidroxilo del almidón y los grupos amino del qitosano. Además su actividad antibacteriana no fue afectada al observarse zonas de inhibición mediante la difusión de discos del material en agar conteniendo *Escherichia coli* O157:H7 (Liu *et al.*, 2009).

Nuevas investigaciones y revisiones recientes frente al uso de qitosano reúnen diversa información referente al efecto de su grado de desacetilación sobre la actividad

antimicrobiana, su uso dentro del diseño de nuevos *films* basados en compuestos bioactivos y su interacción frente a otros componentes que hacen parte de los alimentos frescos y mínimamente procesados, tratados con esta tecnología (No *et al.*, 2002; Devlieghere *et al.*, 2004; Aider, 2010; Martínez-Camacho *et al.*, 2010).

**Goma policaju:** a partir de la goma exudada del árbol de marañón (*Anacardium occidentale L.*) se han generado nuevas matrices de recubrimiento y películas comestibles a base de goma policaju. Éstas han sido evaluadas teniendo en cuenta su opacidad, fuerza tensil, porcentaje de elongación a la rotura y permeabilidad al vapor de agua. Además, propiedades tales como humectabilidad y tensión superficial fueron cuantificadas mediante su uso como recubrimiento en manzanas cv. Golden. Como resultados se pudo determinar que concentraciones menores a 1.5% w/v de goma policaju crearían películas frágiles, la adición de Tween 80, aditivo que cumplió funciones como surfactante, redujo las fuerzas de cohesión por lo tanto se disminuyó la tensión superficial, aumentando la humectabilidad de la solución de recubrimiento, y mejorando de ese modo la compatibilidad del RC con la superficie de la fruta (Carneiro-da-Cunha *et al.*, 2009).

Recubrimientos comestibles a base de goma policaju fueron probados en mango fresco (*Mangifera indica* var. Tommy Atkins), con el objetivo de determinar su efecto en la vida de anaquel de dicho producto fresco en refrigeración. Como resultado se pudo determinar que actúa como una barrera frente al transporte de masa al reducir la pérdida de peso (Souza *et al.*, 2010).

**Galactomananos:** son hidrocoloides que generan interés por su capacidad para estructurar matrices. Se encuentran almacenados como polisacáridos de reserva, son extraídos de semillas, y su estructura polimérica se encuentra influenciada principalmente por la proporción de unidades de manosa/galactosa y la distribución de los residuos de galactosa en la cadena principal (Cerqueira *et al.* 2009a). *Adenanthera pavonina* y *Caesalpinia pulcherrima*, dos plantas pertenecientes a la familia de las leguminosas fueron recientemente utilizadas con el objetivo de desarrollar recubrimientos a partir de nuevas fuentes de galactomananos. Estas plantas son de valioso interés ya que cumplen funciones de reforestación, tienen la capacidad de dispersarse y hasta ahora no son objeto de explotación comercial (Lima *et al.*, 2010).

Diferentes proporciones de galactomananos, colágeno y glicerol fueron preparados y puestos a prueba con el fin de diseñar posibles mezclas con un alto grado de humectabilidad, es decir que tengan la capacidad de adherirse y distribuirse homogé-

neamente y fácilmente en frutos de mango y manzana recubiertos. Como principales conclusiones se pudo determinar que las mejores mezclas para mango y manzana son: 0.5% de galactomamano de *A. pavonina*, 1.5% de colágeno y 1.5% de glicerol; y 0.5% de galactomanano procedente de *A. pavonina*, 1.5% de colágeno sin adición de glicerol. Un menor consumo (28%) de O<sub>2</sub> y menos producción de CO<sub>2</sub> (11.0%) fueron logrados en mangos recubiertos en comparación con las muestras control (sin recubrimiento). En manzanas el consumo y producción de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> fue aproximadamente un 50% más bajo en presencia del RC. Estos resultados sugieren que los recubrimientos compuestos a base de galactomananos pueden reducir la transferencia de gases y de esta manera llegar a convertirse en útiles herramientas para extender el periodo de vida de dichas frutas (Lima *et al.*, 2010).

**Aloe vera:** el gel extraído de la pulpa de *Aloe barbadensis* Miller ha recibido un especial interés por la capacidad de actuar como recubrimiento (Valverde *et al.*, 2005), su actividad antioxidante como respuesta a la presencia de compuestos de naturaleza fenólica (Lee *et al.*, 2000), y el hecho de que genera entre 4 y 2 reducciones logarítmicas en el crecimiento del micelio de mohos tales como *Penicillium digitatum*, *Botrytis cinerea* y *Alternaria alternata* a concentraciones del gel a 250 ml/L (Castillo *et al.*, 2010, Saks & Barkai-Golan, 1995).

### 3. PELÍCULAS, RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES, Y SU PAPEL COMO EMPAQUES ACTIVOS

El desarrollo de recubrimientos a base de polisacáridos ha conllevado un incremento significativo en las clases de aplicaciones que pueden tener y la magnitud de productos que pueden ser tratados, ya que se logra extender la vida de anaquel de las frutas o vegetales mediante la permeabilidad selectiva de estos polímeros frente al O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>. Estos recubrimientos a base de polisacáridos pueden ser destinados a modificar la atmósfera interna de la fruta y de esta manera retardar la senescencia (Rojas-Graü *et al.*, 2009a).

A pesar de que algunas PC han sido aplicadas exitosamente a productos frescos, otras aplicaciones afectaron adversamente la calidad. La modificación de la atmósfera interna mediante el uso de recubrimientos comestibles puede incrementar desórdenes asociados con una alta concentración de CO<sub>2</sub> o una baja de O<sub>2</sub> (Ben-Yehoshua, 1969). En melón fresco cortado y recubierto con goma gellan se cuantificó un incremento de compuestos fenólicos, como respuesta al estrés generado por la excesiva modificación de la atmósfera de dicho fruto mínimamente procesado durante el almacenamiento.

Aunque la generación de compuestos fenólicos contribuyó con el poder antioxidante, por otro lado se afectaron propiedades sensoriales como olor, color, sabor y apariencia, ya que los tejidos se tornaron traslúcidos, por lo tanto se infiere que este último defecto puede ser un síntoma de senescencia (Oms-Oliu *et al.*, 2008a).

Cuando se crea una barrera a los gases, un incremento en la presencia de algunos volátiles asociados con condiciones anaeróbicas puede ser inducido; es el caso de etanol y acetaldehído, los cuales fueron detectados después de 2 semanas de almacenamiento en trozos de manzana tratados con RC de alginato y goma gellan. La producción de dichas sustancias se encuentra relacionada con fermentación anaerobia y detrimento en las propiedades sensoriales, y en especial con la pérdida de sabores en frutos mínimamente procesados (Rojas-Graü *et al.*, 2008). Por consiguiente es evidente que el control de la permeabilidad del *film* a los gases deba ser una prioridad en su desarrollo y estudio (Parra *et al.*, 2008).

Los recubrimientos comestibles forman una atmósfera modificada pasiva que puede influenciar diferentes cambios en productos frescos y mínimamente procesados en aspectos tales como actividad antioxidante, color, firmeza, calidad sensorial, inhibición del crecimiento microbiano, producción de etileno y compuestos volátiles como resultado de anaerobiosis (Oms-Oliu *et al.*, 2008a).

La efectividad de un recubrimiento comestible para proteger frutas y vegetales depende del control de la humectabilidad (Cerqueira *et al.*, 2009b), de la capacidad de la película para mantener compuestos de diversa funcionalidad (plastificantes, antimicrobianos, antioxidantes, sabores, olores) dentro de dicha matriz, ya que la pérdida de dichas soluciones afecta el espesor de la película (Park, 1999), y de la solubilidad en agua, ya que es indispensable evadir la disolución de la PC o RC (Ozdemir & Floros, 2008).

Las películas (*films*) y recubrimientos antimicrobianos han innovado el concepto de empaque activo y se han desarrollado para reducir, inhibir o detener el crecimiento de microorganismos sobre la superficie de los alimentos (Appendini & Hotchkiss, 2002).

En la mayoría de productos frescos o procesados, la contaminación microbiana se lleva a cabo y con una alta intensidad sobre la superficie del alimento, por lo tanto se requiere un efectivo sistema de control de crecimiento de dicha biota (Padgett *et al.*, 1998). Tradicionalmente, los agentes antimicrobianos son adicionados directamente a los alimentos, pero su actividad puede ser inhibida por diferentes sustancias que



forman parte del alimento, de manera que se puede disminuir su eficiencia. En tales casos, la implementación de películas o recubrimientos antimicrobianos puede ser más eficiente que los aditivos que se utilizan en el producto alimenticio, ya que desde éstos se puede migrar selectiva y gradualmente compuestos desde el empaque a la superficie del alimento (Ouattara *et al.*, 2000).

Diversos agentes antimicrobianos han sido acarreados en PC y RC, un conjunto de ellos son: ácido sórbico, ácido benzoico, benzoato de sodio, ácido cítrico (Quintavalla & Vicini, 2002), y sorbato de potasio (Ozdemir & Floros, 2008). De igual manera bacteriocinas tales como nicina, pediocina (Sebti & Coma, 2002) y natamicina. Esta última fue transportada en RC de quitosano y permitió liberar dicho compuesto de forma controlada logrando un efecto sinérgico entre ambos componentes sobre el crecimiento de biota contaminante (Romanazzi *et al.*, 2002, Fajardo *et al.*, 2010).

En algunos hongos, el quitosano puede producir alteraciones en las funciones de la membrana, mediante su fuerte interacción con esta superficie de carga electronegativa, guiando cambios en la permeabilidad, disturbios metabólicos y eventualmente la muerte (Fang, Li, & Shih, 1994).

De acuerdo a Muzzarelli *et al.*, (1990), la actividad antimicrobiana del quitosano contra las bacterias, podría ser atribuido a la naturaleza polielectrolítica de su molécula, la cual permite la interacción y formación de polielectrolitos complejos con polímeros ácidos producidos en la superficie de la célula bacteriana (lipopolisacáridos, ácido teicoico, teicuronico, y polisacáridos capsulares). Recubrimientos y películas a base de quitosano probados sobre *Listeria monocytogenes* mostraron efecto inhibitorio sobre el crecimiento de dicha bacteria (Coma *et al.*, 2002; Ponce *et al.*, 2008). Diversos estudios han mostrado que recubrimientos a base de quitosano tienen el potencial de incrementar la vida de anaquel de frutas y vegetales frescos, al reducir la producción de etileno, incrementar la concentración de gas carbónico y minimizar los niveles de oxígeno (Lazaridou & Biliaderis, 2002; Geraldine *et al.*, 2008; Márquez *et al.*, 2009). Un ejemplo de ello es el efecto sobre frutos de durazno (*Prunus persica* L. Batsch.), en los cuales se redujo la tasa de respiración representada en la producción de CO<sub>2</sub> y se mantuvo la firmeza de la fruta recubierta hasta el final de 12 días de almacenamiento a una temperatura de 23 °C (Li & Yu, 2000).

Este hidrocoloide (quitosano) tiene la capacidad de retardar el crecimiento de ciertos microorganismos que son deletéreos en postcosecha de frutas, tales como *Fusarium spp.*, *Colletotrichum musae*, y *Lasiodiplodia theobromae* en banano (*Musa acuminata*

L. Var. Kluai Hom Thong), (Kyu Kyu, *et al.*, 2007; Maqbool *et al.*, 2010), o *Botrytis cinerea* en tomate de mesa tratado con soluciones de recubrimiento conteniendo concentraciones de 1 – 2% w/v de quitosano y pimiento (*Capsicum annum* L. Var. Bellboy). Mediante la evaluación del efecto del moho *Botrytis cinerea*, sobre tejidos de frutos de pimiento en presencia de quitosano (1.0 mg/ml), se pudo determinar que el fitopatógeno sufrió daño celular en las hifas invasoras y se redujo la producción de poligalacturonasa, lo cual justificaría la conservación de la firmeza de los tejidos (El Ghaouth *et al.*, 1992, 1997).

Estudios sugieren que el quitosano, en películas plastificadas o no, muestra actividad fungistática, lo cual hace posible el desarrollo de nuevos empaques activos con buenas propiedades térmicas. Factores como la temperatura de almacenamiento y las modificaciones de las propiedades mecánicas y de barrera influenciadas por aditivos y otros tipos de sustancias antimicrobianas pueden potenciar el efecto antimicrobial de las películas (Martínez-Camacho *et al.* 2010).

Las películas comestibles tienen en la actualidad diferentes aplicaciones, y está previsto que su uso se expandirá con el desarrollo de los sistemas de recubrimiento activo (Active Coating Systems). Esta segunda generación de materiales de recubrimiento puede emplear sustancias químicas, compuestos fitoquímicos, enzimas o microorganismos vivos que previenen, por ejemplo, el crecimiento microbiano o la oxidación de lípidos en productos alimentarios que han sido recubiertos. De esta manera los biomateriales actúan como transportadores de dichos compuestos que serán acarreados a lugares objetivo como el intestino, sin perder su actividad al estar dentro de tal matriz o durante su paso por el tracto gastrointestinal (Korhonen, 2005).

## 4. TENDENCIAS

### 4.1 Recubrimientos comestibles reducen el consumo de lípidos en productos hortofrutícolas fritos (deep-fat fried products)

Diversos hidrocoloides con gelificación térmica o propiedades espesantes, como proteínas y carbohidratos, han sido puestos a prueba frente a la migración de aceite y agua (Debeauford & Voilley, 1997; Williams & Mittal, 1999). Investigaciones con esferas de puré de papa reportaron una disminución en la humedad de dicho alimento en 14.9, 21.9, y 31.1% y en el consumo de grasa de 59.0, 61.4, y 83.6% para muestras recubiertas con zeína, hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) y metilcelulosa (MC) (Mallikarjunan *et al.*, 1997).

De acuerdo a Williams y Mittal (1999), las películas de MC mostraron mejores propiedades de barrera frente a la absorción de grasa que la hidroxipropilcelulosa (HPC) y la goma gellan.

García *et al.* (2002) hicieron uso de MC y HPMC en la formulación de recubrimientos aplicados a trozos de patata (0.7 x 0.7 x 5.0 cm.) y discos de harina de trigo (3.7 cm de diámetro x 0.3 cm de alto), los cuales fueron sumergidos en la suspensión de recubrimiento por 10 segundos e inmediatamente freídos. Los recubrimientos más efectivos fueron 1% MC y 0.75% sorbitol para los discos de harina de trigo, y 1% MC y 0.5% sorbitol para los trozos de patata. En estas formulaciones el consumo de aceite se redujo a 35.2 y 40.6% para los discos de harina de trigo y los trozos de patata respectivamente. Finalmente no se dio un impacto significativo sobre las características sensoriales de acuerdo al grupo de panelistas.

Singthong y Thongkaew (2009) investigaron la influencia de los hidrocoloides alginato de sodio, CMC y pectina sobre la absorción de aceite en chips de banano. La muestra control o no recubierta presentó un consumo de aceite máximo de 40 g/100 g de muestra, los menores consumos de aceite se obtuvieron para chips de banano blanqueados o escaldados en 0.5 g de  $\text{CaCl}_2$ /100 ml de agua destilada (A.D.) y tratados con una estructura de recubrimiento a base de pectina con una concentración de 1 g/100 ml de AD. El mismo comportamiento fue presentado por los chips de banano escaldados en una solución de  $\text{CaCl}_2$  a una concentración de 0.5 g/100 ml de agua destilada y recubiertos con una estructura a base de CMC (1.0 g CMC/100 ml de A.D.). Para estos dos recubrimientos el consumo de aceite fue similar y se redujo desde un valor inicial de 40.22 g/100 g de muestra, a 22.89 y 22.90 g/100 g., respectivamente.

#### 4.2 Transporte de compuestos bioactivos

Los consumidores día a día exigen que los alimentos frescos y mínimamente procesados estén exentos de sustancias de síntesis química, y buscan aquellos enriquecidos con sustancias de origen natural que traigan beneficios para su salud y que mantengan las características nutritivas y sensoriales de los productos adquiridos. Por lo tanto se ha prestado una mayor atención en la búsqueda de nuevas sustancias de origen natural que permitan actuar como posibles fuentes alternativas de antioxidantes y antimicrobianos (Ponce *et al.*, 2008).

Rojas-Graü *et al.* (2007) aplicaron RC a partir de alginato y goma gellan adicionadas

con N-acetilcisteína y glutatión como agentes antipardeamiento, a trozos de manzana de la variedad Fuji. Con el objetivo de mejorar sus propiedades de barrera, fue agregado en la formulación de los RC aceite de girasol enriquecido con ácidos grasos esenciales ( $\omega 3$  y  $\omega 6$ ), lo que constituye uno de los aspectos innovadores como alternativa para la encapsulación de compuestos lipídicos nutraceuticos. Por otro lado, la adición de aceite vegetal incrementó la resistencia al transporte de vapor de agua desde 15,7 y 14,60 s/cm hasta 19,2 y 27,6 s/cm para alginato de sodio y goma gellan respectivamente, permitiendo disminuir la pérdida de peso, turgencia de los tejidos e incrementar el efecto nutraceutico de los frutos mínimamente procesados.

Oleorresinas de romero (*Rosmarinus officinalis*), orégano (*Origanum vulgare*), olivo (*Olea europea*), ají (*Capsicum frutescens*), ajo (*Allium sativum*), cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) y arándano rojo común (*Vaccinium oxycoccus*) fueron soportadas en recubrimientos comestibles a base de caseinato de sodio, carboximetilcelulosa y quitosano, aplicados en trozos de calabaza o auyama (*Cucurbita moschata* Duch) con el objetivo de inhibir y/o retardar el efecto adverso de la microflora reinante en este tipo de fruto y evaluar su posible efecto sobre *Listeria monocytogenes*. El efecto combinado de las soluciones formadoras de películas adicionadas con oleorresinas a una concentración de 1.0% w/v sobre la microflora nativa y *L. monocytogenes*, fue evaluado mediante la metodología de difusión en agar, agregando 70  $\mu$ L de las soluciones en pozos (5 – 6 mm) realizados en el medio de cultivo preinoculado. La sensibilidad de los microorganismos a las diferentes soluciones se clasificó teniendo en cuenta los halos de inhibición así: no sensitiva (diámetros menores a 8 mm), sensitiva (diámetros entre 9 – 14 mm), muy sensitiva (diámetros 14 – 19 mm) y, extremadamente sensitiva (halos mayores a 20 mm). El método de difusión en agar mostró que la microflora nativa fue sensible al quitosano enriquecido con oleorresina de olivo, romero y ají, así como para soluciones de CMC+romero. *L. Monocytogenes* fue sensitiva a CMC+romero y muy sensitiva a las soluciones formadoras de películas de quitosano adicionadas con romero (Ponce *et al.*, 2008).

Las películas de quitosano enriquecidas con oleorresinas de olivo y romero mostraron un efecto antioxidante claro al retardar la acción de las enzimas peroxidasa (POD) y polifenoloxidasa (PPO) durante los cinco días de almacenamiento. De igual manera recubrimientos comestibles de quitosano enriquecidos con dichas oleorresinas no presentaron efectos deletéreos sobre la aceptabilidad sensorial del zumo extraído de la calabaza (Ponce *et al.*, 2008).

Kechichian *et al.* (2010) suspendieron en matrices de almidón de *Manihot esculenta*

*Crantz* (5.0% w/v en agua destilada), ingredientes con conocida actividad antimicrobiana y antioxidante tales como canela (0.0 – 0.3 w/w), clavo (0.0 – 0.3 w/w), pimienta roja (0.0 – 0.3 w/w) y café en polvo (0.0 – 0.5 w/w); empleando por otro lado extracto de propóleo (0.0 – 0.7 w/w) y aceite esencial de naranja (0.0 – 0.2 w/w). Dichas sustancias presentaron una influencia marcada sobre la fuerza tensil de las películas biodegradables y sobre la permeabilidad al vapor de agua (WVP). Al comparar las mezclas de dichas sustancias acarreadas en las películas frente al control, se pudo corroborar que esta adición provocó una disminución en la fuerza tensil y porcentaje de elongación a la rotura, mientras la permeabilidad al vapor de agua se incrementó. Con respecto a la estabilidad microbiológica de dichas películas biodegradables, que se encontraban en contacto con rodajas de pan y las cuales se almacenaron en un ambiente con condiciones de humedad relativa de 60.0 % y temperatura de 25.0 °C, es importante señalar que mostraron un conteo de mohos y levaduras similar y en algunos casos mayor a los presentados en el control después de 7 días de almacenamiento. Ese comportamiento se pudo explicar tomando en consideración el incremento de la  $a_w$ , lo cual pudo afectar la actividad antimicrobiana de las películas biodegradables.

En los alimentos no sólo la estabilidad microbiológica juega un papel indispensable en la calidad, sino también aspectos como el sensorial son indispensables para lograr que la aplicación de tecnologías emergentes como las películas y recubrimientos comestibles lleguen a ser exitosas. Uno de los aspectos relevantes es la pérdida de sabores, que afecta fuertemente la aceptabilidad sensorial (Rojas-Graü *et al.*, 2009b). Con el objetivo de ralentizar los cambios en los sabores durante la conservación de alimentos, se ha implementado la encapsulación de compuestos aromáticos como una posible estrategia que reduce el efecto de reacciones degradantes como la oxidación (Marcuzzo *et al.*, 2010).

Marcuzzo *et al.* (2010) encapsularon en películas emulsificadas de carragenina 10 compuestos aromáticos (etilacetato, etilbutirato, etilisobutirato, etilhexanoato, etiloctanoato, 2-pentanona, 2-heptanona, 2-octanona, 2-nonanona y 1-hexanol). La evaluación de la liberación de aromas se llevó a cabo haciendo uso de la microextracción en fase sólida del espacio de cabeza y cromatografía de gases a diferentes tiempos (0 – 160 horas) (HS-SPME-GC: *Headspace solid phase microextraction – gas chromatography*). Como resultados se determinó que el etilbutirato y etiloctanoato no fueron detectados a 122 horas de la prueba de liberación de dichos compuestos. Algunos como etilacetato y etilisobutirato no pudieron ser cuantificados desde el inicio de los análisis, esto posiblemente como consecuencia del proceso de preparación

de las muestras y su alta volatilidad. En el caso de las metilcetonas (2-pentanona, 2-heptanona, 2-octanona, 2-nonanona), éstas fueron liberadas a una menor velocidad en comparación a los etil-éster.

Las películas de carragenina resultan como una posible matriz de encapsulamiento ya que muestran afinidad por compuestos volátiles polares. Estas PC actúan como empaques activos y podrán tener el objetivo de liberar gradualmente compuestos de aroma y de esta manera mantener las características sensoriales como olor y sabor durante determinados periodos de tiempo (Marcuzzo *et al.*, 2010). El transporte y liberación de diversos compuestos (antioxidantes, aromas, compuestos antimicrobianos y antipardeamiento, vitaminas, enzimas) es uno de los aspectos más importantes dentro de las funcionalidades de una película y recubrimiento comestible, llegándose a plantear el uso de soluciones nanotecnológicas mediante el empleo de nanopartículas de aditivos y de esta manera encapsular compuestos funcionales y bioactivos que se puedan liberar de forma controlada desde las matrices que las contienen (Rojas-Graü *et al.*, 2009a).

### **4.3 Recubrimientos comestibles y su efecto sobre la extensión de la vida útil de productos altamente perecederos**

A continuación se resumen estudios aplicados en productos frescos (fresa, banano), y mínimamente procesados (zanahoria) con el objetivo de dar a conocer el alcance de los recubrimientos comestibles y la posible extensión de la aplicación de tecnologías emergentes en productos altamente perecederos.

En la tabla número 1 se sintetizan algunas investigaciones en las cuales recubrimientos comestibles fueron evaluados en productos frescos (F) y mínimamente procesados (MP) pertenecientes a la cadena hortofrutícola, y se discrimina el tipo de matriz biopolimérica implementada, los compuestos bioactivos y su concentración, introduciendo por último una breve descripción de los aspectos relevantes a su implementación en dicho alimento.

#### **4.3.1 Extensión de la vida útil de fresa (*Fragaria ananasa* cv. *Camarosa*) mediante la optimización de recubrimientos comestibles**

Ribeiro *et al.* (2007) estudiaron la capacidad de recubrimientos a base de polisacáridos (almidón, carragenina y quitosano) para extender la vida de anaquel de frutos de fresa (*Fragaria ananasa* cv. *Camarosa*) y su posible aplicación industrial. La mejor humectabilidad se logró con combinaciones de 2.0% de almidón y 2.0% de sorbitol;

0.3% de carragenina, 0.75% de glicerol y 0.02% de Tween 80; 1.0% de quitosano y 0.1% de Tween 80 respectivamente. La permeabilidad al oxígeno en películas de carragenina representó aproximadamente el 40.0% del valor obtenido con películas de almidón. La adición de calcio a la solución formadora de la película a base de almidón produjo un incremento en el espesor del *film*, sin embargo no se obtuvieron diferencias significativas en la permeabilidad al oxígeno entre las que poseían calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) en su formulación y las que se preformaron sin la adición de dicha sustancia. El efecto de los recubrimientos sobre las frutas fue caracterizado a través de la determinación de cambios de color mediante cuantificación de los parámetros CIELab  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , firmeza, pérdida de peso, sólidos solubles y crecimiento microbiano durante 6 días. Al final no se encontraron diferencias significativas en el color, la mínima pérdida de firmeza fue obtenida en frutos recubiertos con carragenina adicionada con cloruro de calcio. La pérdida mínima de masa se obtuvo con recubrimientos comestibles basados en carragenina y quitosano adicionados con cloruro de calcio. La menor tasa de crecimiento microbiano se observó en fresas recubiertas con quitosano y cloruro de calcio. Por último la aplicación a nivel industrial de RC de carragenina enriquecidos con  $\text{CaCl}_2$ , produjo una disminución en la pérdida de firmeza en el fruto en contraste con las frutas que no fueron adicionadas con el RC.

#### **4.3.2 Actividad antimicrobiana de recubrimientos comestibles sobre zanahorias (*Daucus carota* L.) mínimamente procesadas**

La zanahoria es uno de los vegetales más populares, pero su mercadeo se encuentra limitado por su rápido deterioro durante el almacenamiento, debido a cambios fisiológicos que reducen su vida útil. El producto sufre la pérdida de su firmeza, consecuentemente se desarrolla la producción y liberación de olores característicos a los generados por catabolismo anaerobio, debido a la alta tasa de respiración y deterioro microbiológico (Barry-Ryan *et al.*, 2000).

Durango *et al.* (2006) desarrollaron recubrimientos a base de almidón de ñame (*Dioscorea sp.*) y quitosano, preparados por termo-gelatinización usando suspensiones de 4% de almidón de ñame (w/w) y 2% de glicerol (w/w). El quitosano fue agregado en concentraciones de 0.5% y 1.5% (w/w). La máxima actividad antimicrobiana se obtuvo en el RC que contenía 1.5% (w/w) de quitosano y fue totalmente eficiente sobre el crecimiento de mohos y levaduras. A esta concentración el conteo de este grupo de microorganismos se redujo en 2.5 ciclos logarítmicos en los trozos de zanahoria que se almacenaron durante 15 días. El recubrimiento con una concentración de 0.5% (w/w) de quitosano controló el desarrollo de mohos y levaduras durante los primeros 5 días de almacenamiento. Después de este tiempo las muestras evaluadas

generaron un conteo similar al de la muestra control. Como resultado general, el uso de recubrimientos antimicrobianos basados en quitosano (1.5% w/w) y almidón de ñame muestra que es una alternativa viable en el control de microbiota presente en zanahorias mínimamente procesadas, ya que se logró inhibir sustancialmente el crecimiento de bacterias ácido lácticas, coliformes totales, microorganismos psicrótrofos, aerobios mesófilos, mohos y levaduras.

#### **4.3.3 Control postcosecha de antracnosis en banano (*Musa paradisiaca* L. cv. *Pisang Berangan*) haciendo uso de un nuevo recubrimiento comestible compuesto**

Recubrimientos comestibles a base de goma arábica (GA) a diferentes concentraciones (5, 10, 15 y 20 % w/v), quitosano (CH) 95% desacetilado (0.5, 1.0 y 1.5% w/v) y películas compuestas de goma arábica+quitosano (GA + CH) fueron aplicadas sobre frutos frescos de banano, con el objetivo de determinar su potencial en el control de *Colletotrichum musae*, hongo causante de la antracnosis en el fruto, que afecta la calidad postcosecha y se desarrolla con mayor facilidad durante el transporte y almacenamiento de la fruta (Maqbool *et al.*, 2010).

Estudios *in vivo* e *in vitro* se llevaron a cabo para determinar las concentraciones de las sustancias (GA y CH) que podrían tener efecto sobre el crecimiento del microorganismo mencionado. Los estudios *in vivo* comprendieron el almacenamiento de frutos de banano pre-inoculados con *C. musae*, empacados en cajas de cartón corrugado en condiciones que simulan las presentadas durante el transporte y almacenamiento ( $13 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $80 \pm 3\%$  HR), por 28 días. Transcurrido ese lapso de tiempo, se cambiaron las condiciones de temperatura y humedad relativa ( $25^\circ\text{C}$ , 60 %HR) durante 5 días, con el propósito de conocer el comportamiento de las frutas frescas durante su comercialización (Maqbool *et al.*, 2010).

Maqbool *et al.* (2010) hicieron seguimiento a la incidencia y severidad de la enfermedad, y al comportamiento de parámetros de calidad tales como el porcentaje de pérdida de peso, la firmeza, la concentración de sólidos solubles y la acidez titulable. Estudios *in vitro* mostraron que a concentraciones de 1.0 y 1.5 % w/v de quitosano se inhibió completamente el crecimiento de *Colletotrichum musae* durante los 7 días de incubación, mientras a 0.5% w/v del compuesto bioactivo el crecimiento se presentó hacia el segundo y tercer día del periodo de incubación. Por otro lado, las concentraciones de goma arábica no tuvieron efecto sobre el crecimiento de *C. musae* (Maqbool *et al.*, 2010).



Las pruebas *in vivo* permitieron a Maqbool y sus compañeros determinar que RC compuestos por una matriz polimérica de goma arábica (10% w/v) adicionada con quitosano (1.0% w/v) fueron el mejor tratamiento evaluado, ya que se obtuvo la menor incidencia de la enfermedad (16%). Además el RC de GA+CH redujo en un 85.0% la pérdida de peso y, se mantuvo la firmeza del fruto (58,23 N.) durante y después del almacenamiento a las condiciones de comercialización en comparación con las muestras control.

Los recubrimientos comestibles de goma arábica adicionados con quitosano muestran un comportamiento sinérgico, al mantener parámetros de calidad sensorial y microbiológica (*C. musae*), sin producir efectos fitotóxicos en banano almacenado durante 33 días en las condiciones anteriormente señaladas (Maqbool *et al.*, 2010).

## 5. CONCLUSIONES

Las tecnologías emergentes basadas en películas y recubrimientos comestibles aplicados a productos hortofrutícolas procesados, mínimamente procesados y comercializados en fresco, buscan extender la vida útil de los alimentos al mantener la calidad, generar valor agregado y direccionarlos de acuerdo a las necesidades y gustos del consumidor. Las PC y RC son estructuras capaces de transportar sustancias que traen beneficios no sólo para el alimento, sino que también pueden generar bienestar mediante la encapsulación de compuestos bioactivos, lo cual ofrece la posibilidad de desarrollar productos nuevos e innovadores con efecto nutracéutico o funcional. Es indispensable reconocer que las películas comestibles deben ser evaluadas con respecto a su estabilidad microbiológica, adhesión, cohesión, humectabilidad, solubilidad, transparencia, propiedades mecánicas, sensoriales y de permeabilidad tanto al vapor de agua como a los gases, ya que de éstas se pueden predecir y optimizar su composición y comportamiento. En la actualidad los estudios siguen encaminados hacia la caracterización de nuevas películas basadas en hidrocoloides de fuentes no convencionales, y hacia la determinación de la capacidad que estas poseen para liberar compuestos con funciones preestablecidas.

La capacidad de los RC y PC para acarrear compuestos debe ser utilizada en el desarrollo de productos innovadores o la potenciación de los productos frescos y mínimamente procesados, mediante la encapsulación de sustancias aisladas de los subproductos agroindustriales tales como vitaminas, antioxidantes, colorantes naturales, sabores, compuestos aromáticos. Así mismo, deben evaluarse las interacciones y la estabilidad que puedan ofrecer dichas matrices.

Hortofrutícola tratado	MP/F	Materiales de recubrimiento	Compuesto bioactivo o ingredientes funcionales	Cantidad incorporada	Efecto	Referencias
Fresa (Fragaria ananassa)	F	Mucílago de cactus (Opuntia ficus indica) + Glicerol	N.A.	N.A.	Permitió mantener la textura y firmeza de frutos recubiertos. Propiedades colorimétricas estables.	Del valle <i>et al.</i> , 2005.
Fresa (Fragaria ananassa cv. Camarosa)	F	Almidón de yuca+ Glicerol + CaCl <sub>2</sub> Carragenina + Glicerol+ CaCl <sub>2</sub> + Tween 80 Quitosano + Tween 80+CaCl <sub>2</sub>	N.A. N.A. Quitosano	N.A. N.A. 1.0% w/v	La adición de CaCl <sub>2</sub> disminuyó la tasa de crecimiento de microorganismos. La mínima tasa de crecimiento microbiano se obtuvo con quitosano adicionado con CaCl <sub>2</sub> . La mínima pérdida de firmeza se obtuvo en frutos recubiertos con Carragenina+CaCl <sub>2</sub> .	Ribeiro <i>et al.</i> , (2007)
Zanahoria (Daucus carota L.)	MP	Almidón de ñame + Glicerol	Quitosano	0.5% - 1.5% w/v	1.5% w/v de quitosano permitió controlar la microbiota presente en zanahoria mínimamente procesada.	Durango <i>et al.</i> , 2006
Calabaza o ayuama (Cucurbita moschata Duch.)	MP	Caseinato de sodio Carboximetilcelulosa (CMC) Quitosano	Oleoresinas de: arándano rojo común, romero, ajo, ají, cebolla de bulbo, olivo, orégano	1.0% w/v	Microflora nativa sensible a recubrimientos de quitosano adicionadas con romero, olivo y ají, así como CMC+romero.	Ponce <i>et al.</i> , 2008
Ajo (Allium sativum)	F	Agar - agar	Quitosano Acido acético	0.2% w/v	La pérdida de humedad fue 3 veces más baja en relación con las muestras no recubiertas. Hongos filamentosos y mesófilos aerobios fueron inhibidos en RC + quitosano y ácido acético. La permeabilidad al vapor de agua fue más baja en el RC + quitosano.	Geraldine <i>et al.</i> , 2008
Melón (Cucumis melon L.) "piel de sapo"	MP	Alginato de sodio+CaCl <sub>2</sub> Pectina+CaCl <sub>2</sub> Goma gellan+CaCl <sub>2</sub>	Aceite de girasol (G3 y G 6)	0.025 g./100 ml. de solución	Los 3 tipos de recubrimientos evitaron la deshidratación e inhibieron la producción de etileno. CaCl <sub>2</sub> permitió mantener la firmeza de la fruta troceada. RC de pectina presentaron las mejores propiedades organolépticas.	Oms-Oliu <i>et al.</i> , 2008a.
Mango (Mangifera indica L.) Var. Irwin	MP	Quitosano	Quitosano	0, 0.5, 1.0, 1.5 % w/v solución en agua destilada	RC de quitosano retardaron la pérdida de peso, propiedades sensoriales y se inhibió el crecimiento de microorganismos en trozos de mango.	Chien <i>et al.</i> , 2007.

Nispero japonés (Eryobotrya japonica T.)	F	Quitosano	Quitosano	0,6% v/v	Se redujo la pérdida fisiológica de peso, la tasa de respiración y la producción de etileno en comparación con las muestras control.	Márquez <i>et al.</i> , 2009.
Espárrago blanco (Asparagus officinalis L.)	MP	CMC WPI (Proteína asilada de suero) Pullulan	N.A.	N.A.	RC implementados actuaron como barrera ante la pérdida de humedad, e intercambio de gases, se retrasó la formación de color púrpura durante el almacenamiento a 4 °C durante 11 días. El mejor tratamiento fue CMC + uso de un film extensible sintético.	Tzoumaki <i>et al.</i> , 2009.
Coles de bruselas (Brassica oleracea L. gemmifera DC)	F	Película de PVC + RC de almidón de maíz + Glicerol	N.A.	N.A.	El efecto sinérgico de película de PVC y RC de almidón permitió: conservar atributos de calidad, durante 42 días de almacenamiento a 0°C. Se mantuvo contenido de A. Ascórbico y se incrementó actividad antirradical de las coles.	Viña <i>et al.</i> , 2007.
Mango (Mangifera indica Var. Tommy Atkins)	F	RC de goma policaju (Anacardium occidentale L.)	N.A.	N.A.	RC de goma policaju mostró una significativa disminución en la pérdida de masa en mangos recubiertos y almacenados a baja temperatura (4°C, 82% HR) durante 28 días.	Souza <i>et al.</i> , 2010.
Banano (Musa x paradisiaca L. cv. Pisang Berangan)	F	Goma arábica + quitosano	Quitosano	1.0 % w/v	Se redujo el ataque por antracnosis causada por Colletotrichum musae durante un período de almacenamiento de 28 días. Se mantuvo firmeza y frescura del producto durante 5 días en condiciones de comercialización (25 °C y 60% HR).	Maqbool <i>et al.</i> , 2010.
Pera (Pyrus communis L. cv. Flor de Invierno)	MP	Alginato de sodio + glicerol + CaCl2 Pectina + glicerol + CaCl2 Goma gellan + glicerol + CaCl2	N-acetil cisteína y Glutation	0,75 % w/v cada uno	Se incrementó la resistencia al vapor de agua en los RC evaluados, la adición de los agentes antipardeantes no sólo redujo el pardeamiento enzimático sino también se ralentizó el deterioro por microorganismos. Se disminuyó la producción de etileno.	Oms-Oliu <i>et al.</i> 2008b.

**Tabla 1.** Aplicación de recubrimientos comestibles en productos hortofrutícolas frescos y mínimamente procesados. Claves: M.P., Mínimamente procesado; F, Fruta fresca; N.A., No aplica.

Como aspecto final, queremos señalar que resulta indispensable reconocer que la información que se genera en el campo de tecnologías emergentes referentes a recubrimientos y películas comestibles debe ser aplicada a la industria alimentaria, ya que ésta ha sido condicionada a la escala de laboratorio y es importante tomar este rumbo con el objetivo de conocer su alcance.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al programa *Jóvenes Investigadores e Innovadores* de Colciencias “Virginia Gutiérrez de Pineda” – Generación del Bicentenario, y a la Oficina de investigaciones y Desarrollo científico de la Universidad del Tolima.

## REFERENCIAS

- Aider, M. (2010). Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry: Review. *LWT – Food science and technology*, 43, 837 – 842.
- Altenhofen, M., Krause, A. C., Guenter, T. (2009). Alginate and pectin composite films crosslinked with  $Ca^{+2}$  ions: Effect of the plasticizer concentration. *Carbohydrate polymers*, 77, 736 - 742.
- Appendini, P. & Hotchkiss J. H. (2002). Review of antimicrobial food packaging. *Innovative Food science and emerging technologies*, 3, 113 – 126.
- Arvanitoyannis, I., Psomiadou, E., Nakayama, A., Aiba, S., Yamamoto, N. (1997). Edible films made from gelatin, soluble starch and polyols, Part 3. *Food Chemistry*, 60 (4), 593 – 604.
- Barry-Ryan, C., Pacussi, J. M., & O’Beirne, D. (2000). Quality of shredded carrots as affected by packaging film and storage temperature. *Journal of Food Science*, 65 (4) 726 – 730.
- Ben-Yehoshua, S. (1969). Gas exchange, transportation, and the commercial deterioration in storage of orange fruit. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 94, 524 – 528.
- Bosquez-Molina, E., Tomás, S. A., Rodríguez-Huezo, M. E. (2010). Influence of  $CaCl_2$  on the water vapor permeability and the surface morphology of mesquite gum based edible films. *LWT-Food Science and Technology*, 43, 1419 – 1425.
- Carneiro-da-Cunha, M. G., Cerqueira, M. A., Souza, W. M. B., Souza, M. P., Teixeira J. A., Vicente, A. A. (2009). Physical properties of edible coatings and films made with a polysaccharide from *Anacardium occidentale L.* *Journal of Food Engineering*, 95, 379 – 385.
- Castillo, S., Navarro, D., Zapata, P. J., Guillén, F., Valero, D., Serrano, M., Martínez-Ro-

- mero, D. (2010). Antifungal efficacy of Aloe vera in vitro and its use as a preharvest treatment to maintain postharvest table grape quality. *Postharvest Biology and Technology*, 57, 183 – 188.
- Cerqueira, M.A., *et al.*, (2009a). Extraction, purification and characterization of galactomannans from non traditional sources. *Carbohydrate Polymers* 75 (3), 408–414.
- Cerqueira, M. A., *et al.*, (2009b). Suitability of novel galactomannans as edible coatings for tropical fruits. *Journal of Food Engineering*, 94, 372 – 378.
- Chambi, H., Grosso, C. (2006). Edible films produced with gelatin and casein cross-linked with transglutaminase. *Food Research International*, 39, 458 – 456.
- Chien, P., Sheu, F., Yang, F. (2007). Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. *Journal of Food Engineering*, 78, 225 – 229.
- Coma, V., Martial-Giros, A., Garreau, S., Copinet, A., Salin, F., & Deschamps, A. (2002). Edible antimicrobial films based on chitosan matrix. *Journal of Food Science*, 67(3), 1162-1168.
- Debeaufort, F., Voilley, A. (1995). Effects of surfactants and drying rate on barrier properties of emulsified edible films. *International Journal of Food Science and Technology*, 30, 183 -190.
- Debeaufort, F., & Voilley, A. (1997) Methylcellulose-based edible films and coatings: 2. Mechanical and thermal properties as a function of plasticizer content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 685 – 689.
- Del-Valle, V., Hernández-Muñoz, P., Guarda, A., Galotto M., J. (2005). Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf life. *Food Chemistry*, 91, 751 – 756.
- Devlieghere, A., Vermeulen, F., Debevere, J. (2004). Chitosan: antimicrobial activity, interaction with food components and applicability as a coating on fruit and vegetables. *Food Microbiology*, 21, 703 -714.
- Durango, A. M., Soares, N. F. F., Andrade, N. J. (2006). Microbiological evaluation of an edible antimicrobial coating on minimally processed carrots. *Food Control*, (17) 336 – 341.
- El Ghaouth, A., Ponnampalam, R., Castaigne, F., & Arul, J. (1992). Chitosan coating to extend the storage life of tomatoes. *Hort-Science*, 27 (9), 1016–1018.
- El Gaouth, A., Arul, J., Wilson, C., Benhamou, N. (1997). Biochemical and cytochemical aspects of the interactions of chitosan and *Botrytis cinerea* in bell pepper fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 12, 183 – 194.
- Fajardo, P., *et al.*, (2010). Evaluation of a chitosan-based edible film as carrier of natamycin


- to improve the storability of Saloio cheese. *Journal of Food Engineering*. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.06.029.
- Fang, S. W., Li, C. F., & Shih, D. Y. C. (1994). Antifungal activity of chitosan and its preservative effect on low-sugar candied kumquat. *Journal of Food Protection*, 56, 136–140.
- García, M. A., Ferrero, C., Bértola, N., Martino, M., Zaritzky, N. (2002). Edible coatings from cellulose derivatives to reduce oil uptake in fries products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 3, 391 – 397.
- Geraldine, R. M., Ferreira, N., Alvarenga, B., Almeida, G. (2008). Characterization and effect of edible coatings on minimally processed garlic quality. *Carbohydrate Polymers*, 72, 403 – 409.
- Guilbert, S., Gontard, N., & Gorris, L. G. M. (1996). Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coatings. *Lebensmittel Wissenschaft und Technology*, 29, 10 – 17.
- Karbowiak, T., Debeaufort, F., Voilley, A. (2007). Influence of thermal process on structure and functional properties of emulsion-based edible films. *Food Hydrocolloids*. 21, 879 – 888.
- Kechichian, V., Ditchfield C., Veiga-Santos, P., Tadini, C. (2010). Natural antimicrobial ingredients incorporated in biodegradable films based on cassava starch. *LWT – Food Science and Technology*. doi: 10.106/j.lwt.2010.02.014.
- Korhonen, H. (2005). Technology options for new nutritional concepts. *International Journal of Dairy Technology*. 55 (2), 79 – 88.
- Krochta, J. M., Baldwin, E. A., Nisperos-Carriedo, M. (1994). *Edible coatings and films to improve food quality*. Florida, United States of America: CRC Press.
- Kyu Kyu, W. N., Jitareerat, P., Kanlayanarat, S., Sangchote, S. (2007). Effects of cinnamon extract, chitosan coating, hot water treatment and their combinations on crown rot disease and quality of banana fruit. *Postharvest biology and technology* 45, 333 – 340.
- Lazaridou, A., & Biliaderis, C. G. (2002). Thermophysical properties of chitosan-starch and chitosan-pullulan films near the glass transition. *Carbohydrate polymers*, 48, 179 – 190.
- Lee, Y. K., Weintraub S. T., Yu, B. P. (2000). Isolation and identification of a phenolic antioxidant from *Aloe barbadensis*. *Free Radical Biology & Medicine*. 2(28), 261 – 265.
- Li, H., Yu, T. (2000). Effect of chitosan on incidence of brown rot, quality and physiological attributes of postharvest peach fruit. *Journal of science of food and agriculture* 81, 269 – 274.
- Lima, A. M., *et al.*, (2010). New edible coatings composed of galactomannans and collagen blends to improve the postharvest quality of fruits – Influence on fruits gas transfer rate. *Journal of Food Engineering*. 97, 101-109.

- Liu, F., Qin, B., He, L., Song, R. (2009). Novel starch/chitosan blending membrane: antibacterial, permeable and mechanical properties. *Carbohydrate Polymers*, 78, 146 – 150.
- Maftoonazad, N., Ramaswamy, H. S., Moalemiyan M., Kushalappa, A. C. (2007). Effect of pectin-based edible emulsion coating on changes in quality of avocado exposed to *Lasiodiplodia theobromae* infection. *Carbohydrate Polymers*. 68, 341 – 349.
- Mallikarjunan, P., Chinnan, M.S., Balasubramaniam, V.M., & Phillips, R.D. (1997). Edible coatings for deep-fat frying of starchy products. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technology*. 30, 709 –714.
- Maqbool, M., *et al.*, (2010). Control of postharvest anthracnose of banana using a new edible composite coating. *Crop Protection*. doi:10.1016/j.cropro.2010.06.005.
- Marcuzzo, E., *et al.*, (2010). Encapsulation of aroma compounds in biopolymeric emulsion based edible films to control flavor release. *Carbohydrate Polymers* (2010), doi:10.1016/j.carbpol.2010.01.016
- Márquez, C. J., Cartagena, J. R., Pérez-Gago, M. B. (2009). Efecto de recubrimientos comestibles sobre la calidad en poscosecha del níspero japonés (*Eriobotrya japonica T.*). *VITAE* 16 (3), 304 – 310.
- Martin-Polo, M., Mauguin, C., & Voilley, A. (1992). Hydrophobic films and their efficiency against moisture transfer. 1. Influence of the film preparation technique. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40, 407 – 412.
- Martínez-Camacho *et al.*, (2010). Chitosan composite films: Thermal, structural, mechanical an antifungal properties. *Carbohydrate Polymers*, doi:10.1016/j.carbpol.2010.04.069.
- McHugh, T. H., & Krochta, J. M., (1994). Dispersed phase particle size effects on water vapor permeability of whey protein-beeswax edible emulsion films. *Journal of Food Processing and Preservation*, 18, 173 – 188.
- Miller, K. S., Krochta, J. M. (1997). Oxygen and aroma barrier properties of edible films: A review. *Trends in Food Science and Technology*. 8 (7), 228 – 237.
- Morillon, V., Debeaufort, F., Bond, G., Capelle, M., & Volley, A. (2002). Factors affecting the moisture permeability of lipid – based edible films: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 42 (1), 67 – 89.
- Muzzarelli, R., Tarsi, R., Fillipini, O., Giovanetti, E., Biagini, G., & Varaldo, P. R. (1990). Antimicrobial properties of N-carboxybutyl chitosan. *Antimicrobial Agents Chemotherapy*, 34 (10), 2019 – 2023.
- No, H. K., Park, N. Y., Lee, S. H., Meyers, S. P. (2002). Antibacterial activity of chitosans and chitosan oligomers with different molecular weights. *International journal of food microbiology*, 74, 65 – 72.

- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., Martin-Belloso, O. (2008a). Using polysaccharide-based coatings to enhance quality and antioxidant properties of fresh-cut melon. *LWT- Food science and technology*, 41, 1862 – 1870.
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., Martin-Belloso, O. (2008b). Edible coatings with anti-browning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh-cut pears. *Postharvest Biology and Technology*. 50, 87 – 94.
- Ouattara, B., Simard, R., Piette, G., Bégin, A., & Holley, R. A. (2000). Inhibition of surface spoilage bacteria in processed meats by application of antimicrobial films prepared with chitosan. *International Journal of Food Microbiology*, 62, 139 – 148.
- Ozdemir, M., Floros, J. D. (2008). Optimization of edible whey protein films containing preservatives for mechanical and optical properties. *Journal of Food Engineering*, 84, 116 – 123.
- Padgett, T., Han, L. Y., & Dawson, P. L. (1998). Impact of edible coatings on nutritional and physiological changes in lightly-processed carrots. *Postharvest Biology and technology*, 14, 51 – 60.
- Pagella, C., Spigno, G., De Faveri, D. M. (2002). Characterization of starch based edible coatings. *Trans IChemE*. 80, 193 – 198.
- Park, H. (1999). Development of advanced edible coatings for fruit. *Trend food Science Technology*. 10, 254 – 260.
- Parra, D., F., Tadini C., C., Ponce P., Lugão, A., B. (2004). Mechanical properties and water vapor transmission in some blends of cassava starch edible films. *Carbohydrate polymers*, 58, 475 – 481.
- Perez-Gago, M. B., & Krochta, J. M. (2002). Lipid particle size effect on water vapor permeability and mechanical properties of whey protein beeswax emulsion films. *Journal of Agricultural and food Chemistry*, 49 (2), 996 – 1002.
- Ponce, A. G., Roura S. I., del Valle C. E., Moreira M. R. (2008). Antimicrobial and antioxidant activities of edible coatings enriched with natural plant extracts: *in vitro* and *in vivo* studies. *Postharvest Biology and Technology*, (49) 294 – 300.
- Quintavalla, S., & Vicini, L. (2002). Antimicrobial food packaging in meat industry. *Meat Science*, 62, 373–380.
- Ramos-García, M. L., Bautista-Baños, S., Barrera-Necha, L. (2010). Compuestos antimicrobianos adicionados en recubrimientos comestibles para uso en productos hortofrutícolas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 28 (1), 44 – 57.
- Ribeiro, C., Vicente A. A., Teixeira J. A., Miranda C. (2007). Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Postharvest Biology and Technology* (44) 63 – 70.



- Rojas-Graü, M. A., *et al.* (2007). Alginate and gellan-based edible coatings as carriers of anti-browning agents applied on fresh-cut Fuji apples. *Food Hydrocolloids*, 21, 118 – 127.
- Rojas-Graü, M. A., Tapia, M. S., Martín-Belloso, O. (2008). Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples. *LWT*, 41, 139 – 147.
- Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., Martín-Belloso, O. (2009a). Edible coatings to incorporate active ingredients to freshcut fruits: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 20, 438 – 447.
- Rojas-Graü, M. A., Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., Martín-Belloso, O. (2009b). The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 875 – 889.
- Romanazzi, G., Nigro, F., Ippolito, A, Di Venere, D., & Salerno, M. (2002). Effects of pre- and postharvest chitosan treatments to control storage grey mold of table grapes. *Journal of Food Science*, 67(5), 1862–1866.
- Saks, Y., & Barkai-Golan, R. (1995). *Aloe vera* gel activity against plant pathogenic fungi. *Postharvest Biology and Technology* 6, 159-165.
- Sebti, I., & Coma, V. (2002). Active edible polysaccharide coating and interactions between solution coating compounds. *Carbohydrate Polymers*, 49, 139–144.
- Shelhammer, T. H., & Krochta, J. M. (1997). Whey protein emulsion film performance as affected by lipid type and amount. *Journal of Food Science*, 62 (2), 390 – 394.
- Shrestha, A. K., Arcot, J., Paterson, J. L. (2003). Edible coating materials their properties and use in the fortification of rice with folic acid. *Food Research International*, 36, 921 – 928.
- Singthong, J., Thonkaew, C. (2009). Using hydrocolloids to decrease oil absorption in banana chips. *LWT-Food Science and Technology*, (42) 1199-1203.
- Sobral, P. J., Menegalli, F. C., Hubinger, M. D., Roques, M. A. (2001). Mechanical water vapor barrier, and thermal properties of gelatin based edible films. *Food Hydrocolloids*, 15, 423 – 432.
- Souza, M. P., *et al.*, (2010). Polysaccharide from *Anacardium occidentale L.* tree gum (Poli-caju) as a coating for Tommy Atkins mangoes. *Chemical papers*, 64 (4) 475 – 481.
- Tanada-Palmu, P. S., Grosso, C. R. (2005). Effect of edible wheat gluten-based films and coatings on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality. *Postharvest Biology and Technology*, 36, 199 – 208.
- Tzoumaki, M. V., Biliaderis C. G., Vasilakakis, M. (2009). Impact of edible coatings and packaging on quality of white asparagus (*Asparagus officinalis, L.*) during cold storage. *Food Chemistry*, 117, 55 – 63.

- Valverde, J. M., Valero, D., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Castillo, S., Serrano, M. (2005). Novel edible coating based on Aloe vera gel to maintain table grape quality and safety. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53 (20), 7807 – 7813.
- Vásconez, M., Flores, S., Campos, C., Alvarado, J., Gerschenson, L. (2009). Antimicrobial activity and physical properties of chitosan–tapioca starch based edible films and coatings. *Food Research International*. 42, 762 – 769.
- Viña, S. Z., Mudridge, A., García, M. A., Ferreyra R. M., Martino, M. N., Chaves, A. R., Zaritzky, N. E. (2007). Effects of polyvinylchloride and edible starch coatings on quality aspects of refrigerated Brussels sprouts. *Food Chemistry*, 103, 701 – 709.
- Williams, R., & Mittal, G.S. (1999). Water and fat transfer properties of polysaccharide films on fried pastry mix. *Lebensmittle-Wissenschaft Und Technology*, 32, 440 –445. 

Referencia	Fecha de recepción	Fecha de aprobación
Juan Pablo Quintero Cerón, Víctor Falguera Pascual y José Aldemar Muñoz Hernández. Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. Revista <i>Tumbaga</i> (2010), 5, 93-118	Día/mes/año 18/06/2010	Día/mes/año 22/09/2010